

# 体細胞分裂の観察における指導の工夫

西 嘉之

## 1. はじめに

理科において観察や実験を好む生徒は多い。平成27年度の全国学力・学習状況調査では理科の調査が行われ、その質問紙調査では、理科の授業が好き、またはどちらかという好きと回答した生徒が61.9%であり、観察や実験を行うことが好き、またはどちらかという好きと回答した生徒は80.2%であった。<sup>(1)</sup> その観察や実験において、生徒自身が操作したり対象に触れたりすることが生徒の知的好奇心を満たし、理科の面白さを味わわせたり感動を与えたりするのは明らかである。とは言え、教科書に従って漫然と観察や実験を行っていても、結果が伴わなければ生徒の期待に応えることはできず、納得感も与えられない。実験において望ましい結果を得られる、あるいは観察すべきものをとらえられるようにするには、教師の事前準備や授業での生徒への指示、助言が重要になってくる。教師の経験や指導力の差が現れるのもそのあたりであろう。

本稿で論ずる体細胞分裂の観察は、中学校学習指導要領<sup>(2)</sup>の「第4節理科」「(5) 生命の連続性」「(ア) 生物の成長と殖え方」「ア細胞分裂と生物の成長」で「体細胞分裂の観察を行い、その順序性を見いだして理解するとともに、細胞の分裂と生物の成長とを関連付けて理解すること。」に基づき行われる。また、中学校学習指導要領解説理科編<sup>(3)</sup>には「ここでは、体細胞分裂の観察を行い、体細胞分裂の過程には順序性があることを見いだして理解させるとともに、多細胞生物は細胞の分裂によって成長することを理解させることがねらいである。体細胞分裂については、染色体が複製されて二つの細胞に等しく分配され、元の細胞と同質の二つの細胞ができることを理解させる。体細胞分裂の順序性を見いださせる際には、染色体数が少なくて見やすい植物細胞を観察するとよい。さらに、例えば、映像などを活用して、体細胞分裂における染色体の動きを見せることなども考えられる。」とある。

そこで、中学校3年生で体細胞分裂における順序性を見だし多細胞生物の成長について学ぶために観察が行われている。また、高校では遺伝情報の分配を学ぶ前段階として多

くの学校で体細胞分裂の観察を行っている。

しかしながら、全ての中学校の理科の授業でこの体細胞分裂の観察が行われているわけではないようである。以前実施された東京都の中学校教師対象の調査では、体細胞分裂において「観察を行っている」のは71.2%であった。<sup>(4)</sup>「行わない」と回答した27.2%の主な理由は、「実施しても分裂がよく見えない」「材料を準備するのが大変」「1時間の授業ではうまくいかない(時間が足りない)」「視聴覚教材で実施できる」などであった。東京都に限らず、全国どの中学校でも同様の傾向があると推察される。

この観察を実施する上では、顕微鏡観察の時間を十分に確保できるようにするとともに、生徒の興味・関心に応え感動を与えられるように個々に顕微鏡や材料を用意して観察させたいと考える教師は少なくない。しかし、授業では準備に時間を要して顕微鏡での観察時間を十分にとれない、という事態になりがちである。また、生徒一人ひとりが顕微鏡を使ってプレパラートを観察できるように手間をかけて材料を準備しても、分裂像を見付けられる生徒は往々にして半数に満たないのが実状である。実際、筆者の経験では分裂像を観察できた生徒が2割程度のことがあった。そこで、効率性を重視して市販されている細胞分裂のプレパラートを観察させたり、教科書の写真やスライドで説明して観察に代えたりすることになるのも致し方ない面がある。

この点から本稿では、体細胞分裂の観察において理科教師が直面することになる課題を整理していき、教師、生徒双方にとって納得がいく結果が得られるような事前準備や授業における指導のポイントを明らかにする。特に生徒が確実に分裂像を見付けられる方法について考察し、指導者の経験や指導力の違いなどによらない再現性が高い観察の在り方を追究したい。

## 2. 教科書における体細胞分裂の観察の取扱い

現行の中学校理科の教科書の発行者は5社ある<sup>(5)</sup>が、体細胞分裂の観察においては、いずれの教科書でもタマネギの鱗茎や種子を発根させて観察するという方法が採用されている。それらには材料や染色液、方法の一部に違いがあるものの大きな差異はない。

一例として、大日本図書発行の教科書における体細胞分裂の観察に関する記述を引用すると、『1章「生物の成長とふえ方」』『1 細胞分裂と生物の成長』で観察の手順が次のように説明されている。<sup>(6)</sup>

観察1「細胞の大きさと核の様子を観察しよう」

【手順①】根を準備する。

水につけて成長させたタマネギの根の先端部分を5 mm くらいカッターで切りとり、うすい塩酸に入れて、2～3分間湯（60℃）であたためたあと、水洗いする。（細胞と細胞の結合を切って見やすくするために行う）

【手順②】スライドガラスにのせる。

手順①の根の先端をスライドガラスにのせ、染色液（酢酸カーミン液または酢酸オルセイン液）を1滴落として、柄つき針でほぐし、2～3分おく。

【手順③】プレパラートをつくり、顕微鏡で観察する。

カバーガラスをかぶせてろ紙をのせ、ずらさないように押しつぶし、顕微鏡で観察する。

（スライドガラスを2枚使う方法：カバーガラスはかぶせずに、①スライドガラスを十字になるように置いて、垂直におしつぶす。②スライドガラスをはがし、カバーガラスをかけて観察する。）

注意：力を入れすぎるとスライドガラスがわれて指を傷つけるので注意する。

このように、体細胞分裂の観察では【手順①】～【手順③】において固定→染色→解離→観察というプロセスがある。しかし、50分の授業において鱗茎から根を切り出し固定するところから観察の準備を始めると、その後の観察時間が足りなくなってしまうことが予想される。そこで、固定、染色は予め教師が行っておくこともある。その場合、授業では【手順②】から始めることになる。

### 3. 観察実施上の課題

体細胞分裂の順序性を見いださせるという重要な機会であるが故にいずれの教科書にも記載されている細胞分裂の観察は、前述のように教科書どおりに実施しても生徒全員に分裂像を観察させることが難しい。これについて西野・山城（2020）は、中学校理科教師への体細胞分裂の観察の実施状況に関するアンケート調査結果により、教科書に記載されているタマネギの鱗茎の根を用いた細胞分裂の観察では、タマネギの発根した根端で分裂像を観察できている教師はほとんどいないのが現状であると述べている。<sup>(7)</sup> さらに、この観察には根の準備に時間がかかる、分裂期の根の必要数の確保が難しい、教科書記載の酢酸カーミン液や酢酸オルセイン液では核の染色が不十分で観察しづらい、などの課題があることを指摘している。

そこで、観察実施上の課題を筆者の経験も踏まえて整理すると、次の（1）～（5）のとおりである。

**(1) タマネギの鱗茎を発根させ、生徒数分の試料を準備するには手間がかかる。**

タマネギの鱗茎1個から発根する根は10～20本である。1クラスが40人ならば、理科教師が担当する4または5クラス分の根を得るためには鱗茎を20個程も準備する必要がある。これらは観察実施日を見計らって水栽培を始めなければならない。数多くの根を準備するという点では種子を播種して、発根させるという方法もあるが、いずれにしても、授業で生徒一人ひとりに手際よく試料を渡し、顕微鏡観察を速やかに始められるようにしておく必要がある。そのためには、教師が授業前(始業前)に根を切り固定、染色しておくことになる。

**(2) 教科書指定の染色液では細胞分裂を観察しにくい。**

教科書の指示に従うと、染色液は入手しやすく比較的安価であることから酢酸オルセイン液または酢酸カーミン液を使用するが、染色時間として5～10分程度を要するため、その後の顕微鏡での観察時間を逼迫させる要因となる。染色を教師が授業前に行っておくことにより時間の短縮は図れるが、それでも染まった色が浅く染色体が鮮明に見えないことが多い。

**(3) 【手順②】に示されたプレパラートの準備は容易ではない。**

観察の【手順②】で「根端を柄つき針でほぐす」ことになっているが、どのようにどの程度ほぐすのかについては具体的な記述がない。そのため、ほぐし方が不十分で細胞が重なってしまい分裂細胞を見付けられなかったり、観察しにくくなってしまったりすることが多い。また、【手順③】で「ずらさないように押しつぶし」とあるが、カバーガラスをかぶせて指で力を加える際、どうしても生徒はこわごわ押すことになる。その結果、十分につぶすことができなかったり、垂直に力を加えなかったためにずれて細胞を破壊してしまったりすることが往々にして起こる。

**(4) そもそも観察した細胞で細胞分裂が起こっているとは限らない。**

細胞分裂が常に起こっているのであれば、根をいつ切っても同様に分裂像を観察することができるはずである。しかし、実際には1日の授業の中で分裂像を多く観察できるクラスとそうでないクラスがあることは、多くの理科教師が経験的に知っていると思われる。

教科書には細胞分裂が盛んになる時刻に関する記述は無いが、教師用指導書では午前10時ごろとしているものが多い。<sup>(8)</sup> そこで、観察を行う場合、その日に観察する根の準備(根を切り固定液につけ染色する操作)を午前10時ごろにまとめて行うことが理

想である。しかし、現実には必ずしもその時間に準備ができるとは限らないので、その場合は当日の朝、始業前に行うことになる。

#### (5) 観察時間が短く、目的とする分裂像をとらえられない。

授業では(3)で述べた要因などにより、失敗しやり直す生徒が必ず存在する。その結果、その生徒はかなり時間が経過してから顕微鏡観察を始めることになってしまう。さらに、顕微鏡観察を始めても分裂細胞を視野にとらえることができない生徒は少なくない。教師がせっかく分裂期の細胞を準備したのにもかかわらず、生徒は「見えた」という感動を味わわないまま観察を終えることになってしまうのである。

### 4. 課題解決のためのアプローチ

3で述べた(1)～(5)の5つの課題を解決することにより、生徒全員が分裂像を確実に観察できるようになると期待される。そこで、解決の方法を次のように考えた。

#### (1) 観察の材料

教科書ではタマネギの鱗茎または種子を発根させて使うことになっているが、これにはどのような理由があるのであろうか。

これまでに、根端の細胞が大きく分裂細胞の数が多い植物で、短時間で発根する植物の研究が様々行われてきた。遠藤・鈴木・加藤(2007)は体細胞分裂が観察できる植物としてタマネギの鱗茎以外の材料を見付けることと、タマネギの鱗茎を使用する場合の最適な発根条件について研究している。<sup>(9)</sup>

遠藤らは、容易に入手できる81種の植物の根端の分裂組織の観察を行った例のほか、いくつかの先行研究をもとに、キュウリ、インゲンマメ、エダマメ、ラディッシュ、ブロッコリー、ハウセンカ、トマト、ニンジン、インパチェンス、ネギ、ヒマワリ、タマネギの12種類の種子を播種して発根させ、観察を行った。また、タマネギ、新タマネギを発根させて従来の方法で観察を行った。その結果、発根に要する時間が短く、観察できる分裂細胞の数が多いものは、ネギ、ヒマワリ、タマネギ(種子)、タマネギ(鱗茎)であった。このうち、ネギは根が細く短く、塩酸処理が比較的難しかったので観察材料の候補からは外した。

ヒマワリは播種後2日で発根し、根の太さ(直径)は約1.5mm、長さは15～20mmであった。根の細胞の大きさは $25 \times 15 \mu\text{m}$ で、体細胞分裂中の細胞は探しやすく、その分裂している細胞数はかなり多かった。

タマネギの種子は播種後2日で発根し、発根率は60%、根の太さ(直径)は約0.3mm、長さは3~4mmであった。根の細胞の大きさは $20 \times 18 \mu\text{m}$ で、体細胞分裂中の細胞は探しやすい、分裂している細胞数はかなり多かった。

タマネギの鱗茎は水に浸してから2日後に発根し始め、発根率は100%、根の太さ(直径)は約1.5mm、長さは10~30mmであった。根の細胞の大きさは $30 \times 20 \mu\text{m}$ で、体細胞分裂中の細胞は探しやすい、分裂している細胞数はかなり多かった。

以上の結果から授業での観察に用いるのにふさわしい植物は、ヒマワリ、タマネギであり、観察を個別化するのであればその種子を播種して数多く発根させておいてもよいと考えられる。タマネギの鱗茎を使うのであれば、授業の3日前には水に浸し発根をうながす。鱗茎の発根については、遠藤らの実験結果から、茶色い外皮をむき周囲を暗くしておくことにより発根数が増えることがわかった。

## (2) 染色液

細胞の観察では酢酸カーミン液または酢酸オルセイン液を用いて染色するのが一般的であるが、染色に時間を要することと染まる色が薄く観察しにくいことから、他の染色液を用いる方法についての研究が行われている。

米澤(2009)は「メチルバイオレット(酢酸ゲンチアナバイオレット)染色液」を用いる方法を報告している。<sup>(10)</sup>メチルバイオレット染色液は染色力が強く、2~3分という短時間で染色ができる。

また、土屋(2003)は酢酸フクシン液と塩酸を混合した液に根を12分間浸すことにより、固定と染色を同時に行い、その後の観察時間を確保する方法について報告している。<sup>(11)</sup>ちなみに、メチルバイオレットは25g 6,800円、酢酸フクシン25g 12,800円(2020.8月現在)であり、米澤や土屋が報告した当時と価格は異なっている。

そのほか、大日本図書が発行している教育情報誌では、サフラニン塩酸液が紹介されている。<sup>(12)</sup>サフラニン塩酸液も固定と染色を同時に行うことができ、よく染まって観察しやすい。また入手が容易で比較的安価である。

## (3) プレパラートの作製

プレパラートの作製に関する教科書の観察の手順では、染色処理後に根端を柄つき針でほぐし、その後にスライドガラス上で押しつぶすと説明されている。教科書ではスペースが限られていて詳細な説明を書けないのであろうが、この記述では生徒が具体的なほぐし方を理解しにくい状況があるので、次のような補足説明が必要であろう。

まずは、スライドガラスの上で柄つき針を使って根の先端に近い部分1mm程度を切



り離してしまう。次に、分裂細胞があるあたりの細胞を根の方向（縦方向）にできるだけ細かく裂く。これを丁寧にすることによって細胞の重なりをかなり防ぐことができる。最後に、細胞を押しつぶすのであるが、ろ紙を使う場合でもスライドガラスを十字に置いて押す場合でも、垂直に力を加えるためには「座ったまま操作をせず、必ず立った状態で親指の腹を使い真上から体重をかけるように押す」と説明する。立って操作させることにより、試料をずらしてしまう失敗を防げるとともに、「体重をかける」という表現でかなり力を込めてよいことが伝わる。

#### （4）細胞を固定する時間

分裂している細胞を数多く観察するためには、細胞分裂が起こっている時間に根を切り固定することが重要である。そこで、細胞分裂は何時頃に起こっているかを明らかにするため、栗本・古屋（2008）はタマネギの鱗茎の根端を用いて分裂頻度の推移を2時間おきに24時間観察し、1日を通した分裂の周期性を明らかにした。<sup>(13)</sup> ここで分裂頻度(%)とは、範囲内の分裂期の細胞数÷範囲内の全細胞数×100で表される指数である。さらに鱗茎の水栽培開始から何日目の根を観察するとより多くの分裂像が得られるのかを調べた。実験では水栽培を開始してから2～5日目に観察できた分裂期にある細胞の細胞頻度を比較している。これによると、細胞分裂はいずれの日でも1日に3回の極大を迎えている。その1回目は5時から7時、2回目は13時から15時、3回目は23時から翌1時である。また、4日間の中では3日目の個体がより高い分裂頻度を示した。

同様の実験は前述の遠藤ほか<sup>(9)</sup>も行っている。遠藤らはタマネギの鱗茎の発根処理開始から3日後の9時～19時の間2時間おきに分裂期の細胞数を数えた結果、最も数多くの分裂細胞が確認されたのは9時に切り取った根で、その次に分裂細胞数が多かったのは11時及び13時に切り取った根であると述べている。

これらの結果から、実際の授業では、水栽培を開始してから3日目の根を教師が朝7～9時ごろに採取し固定しておき、授業時間に生徒がその後の操作を行えば、より多くの分裂像を観察できるとともに観察時間を確保できると考えられる。

#### （5）観察における留意点

授業において顕微鏡観察を行う時間（20分程度）を確保するためには、準備にかけられる時間は20分程度である。教師が予め固定を行っておき、染色、解離から始めさせたとしても、生徒に行わせると失敗する要因はまだある。そこで、(3)のような指導を行うことによって失敗を防ぎ、観察時間をある程度は確保できる。しかし、その後の顕微鏡操作は生徒の習熟度が試される。習熟と言っても単に顕微鏡操作について会得し

ている，ということだけではなく，目的とするものがどのように見えるか，何を探せば良いのかを具体的にわかった上で顕微鏡を操作しているかどうか，ということが重要になる。

生徒たちはこれから探すことになる分裂期の細胞を教科書の写真で知っている前提であるが，実はそれは400倍でとらえたかなり鮮明な写真である。その写真で使用されている染色液の色が実際の観察で用いるものと異なったり，コントラストが強調されたりしている場合もある。教科書写真のイメージで目の前の視野の中を探すと分裂細胞を見落としてしまう可能性がある。

また，細胞分裂の観察は最終的には400倍で行うが，生徒たちはまずは100倍で顕微鏡の視野に分裂期の細胞をとらえ，その後400倍に拡大して詳細の観察を行う。そのため，顕微鏡観察の導入で，分裂期の細胞が100倍ではどのように見えるのかというイメージを生徒たちに持たせて探させることが大切である。

そこで，実際に使用する染色液に染めた100倍での分裂細胞の画像を書画カメラでとらえ，スクリーンに投影した上で，「まずは100倍でこのように見える像を探す」という指示を行う。それによって生徒たちは，これから探すものを明確に理解して顕微鏡観察に取り組むことができるようになるのである。

## 5. おわりに

生物の体がどのように成長していくかを生徒が直接見ることができる体細胞分裂の観察は，観察できた生徒にとってはいつまでも印象に残る授業の一つであると言える。それは，直前まで盛んに活動していた肉眼ではとらえられない細胞の様子を，様々な分裂像を見ることによって知ることになるからである。その結果，生命の営みについて実感を伴って理解し，感動すら覚える生徒がいるのは当然のことである。だからこそこの観察を大切に思い，準備に手間がかかってでも実施したいと思う理科の教師は筆者だけではないと確信している。一方，様々な理由からこの観察を困難と感じ，実施することを遠ざけてしまう理科教師がいるのも事実である。

本稿では，観察が困難とされる原因を探り，その解決方法を考察してみた。これらのアプローチを実践することにより，分裂像を観察できる可能性は格段に上がると期待できる。実際，筆者自身は前述のアプローチを授業に取り入れることにより，生徒全員が分裂像を観察できた経験を持っている。

とは言え，それを実現するためには他に重要なことがある。その一つは，日常の顕微鏡の整備である。分裂像を全員が観察できた学校はたまたま新設校ということもあり，顕微



鏡は同じ型のものを生徒数分用意できた。また、レンズが明るくゆがみが少ない高性能なものが採用されていた。その結果、生徒が分裂細胞を100倍の視野にとらえることができれば、その後は容易に400倍に拡大して観察を行うことができた。

二つ目として、顕微鏡操作の習熟については中学1年生からの積み重ねがあつてのことであるのは言うまでも無い。ちなみに、顕微鏡の操作については、3年生で行う体細胞分裂の観察で全員が分裂像を観察できることを目標に1年生からの指導を行い、また生徒にもそれを伝え目標とさせて取り組ませていた。その点で、この観察にかける生徒たちの意気込みは強く、観察の準備をする筆者の責任は大きかったと言える。

生徒の知的好奇心を満たし、理科の面白さを味わわせ、感動を与えられる授業の実現が理科教師の使命である以上、観察・実験の指導における工夫や改善を弛まなく行っていくことを忘れないようにしたいものである。

**[注・参考文献]**

- (1) 全国学力・学習状況調査 調査結果資料【全国版/中学校】  
(<https://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/factsheet/middle/> 文部科学省)
- (2) 「中学校学習指導要領 (平成29年告示)」(文部科学省 平成29年3月)
- (3) 「中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説理科編」(文部科学省 平成29年7月)
- (4) 「教育研究員研究報告書 (東京都教職員研修センター 平成17年1月)
- (5) 東京書籍株式会社, 大日本図書株式会社, 学校図書株式会社, 教育出版株式会社, 株式会社新興出版社啓林館
- (6) 「理科の世界 3年」(大日本図書 平成23年)
- (7) 「中学校理科『生物の成長と殖え方』単元における細胞分裂の観察・実験を授業で実施するための課題とその改善に関する研究」(西野秀昭, 山城慶太 福岡教育大学紀要 2020)
- (8) 例えば「3年理科の世界 教師用指導書 上」(中村日出夫ほか 大日本図書株式会社 平成24年3月1日発行)
- (9) 「体細胞分裂が観察できる生物教材の研究」(遠藤寿紀, 鈴木隆, 加藤良一 山形大学紀要第14巻第2号 平成19年2月)
- (10) 「体細胞分裂を観察するための色素, ダーリアバイオレットの代替品について」(米澤義彦 鳴門教育大学教育第50巻第1号 2009)
- (11) 「中学校における『細胞』に関する観察実験の教材と指導法の工夫」(土屋尊子 神奈川県総合教育センター長期研修員研究報告 2003)
- (12) 「中学校教育フォーラム 2019年度冬」(大日本図書株式会社 2020年1月6日発行)
- (13) 「タマネギの体細胞分裂の分裂頻度と概日リズムの関係についての研究」(栗本卓哉, 古屋光一 日本理科教育学会 2008)